

ESTIMATION OF NECHROMASS CARBON CONTENT IN HUTAN LARANGAN ADAT KENAGARIAN RUMBIO KAMPAR DISTRICT AS A MODULE DESIGN ON HIGH SCHOOL BIOLOGY LEARNING

Irfan, Sri Wulandari, Yuslim Fauziah

Email : irfan2752@student.unri.ac.id, sri.wulandari@lecturer.unri.ac.id, yuslim.fauziah@gmail.com

Phone Number : +6289501640003

*Study Program of Biology Education
Department Of Mathematics And Natural Sciences
Faculty of Teacher Training and Education
Riau University*

Abstract: *The study aims to see the carbon potential stored in tree and litters at Hutan Larangan Adat Kenagarian Rumbio Kampar District and its potential to produce designs of air pollution modules in tenth grade high school biology study. The study was conducted from January to February 2019. This research was a descriptive study using survey methods in Hutan Larangan Adat Kenagarian Rumbio and in Biology education natural laboratory Faculty of Teacher Training and Education University of Riau. The selection of location was purposive sampling, which there are 3 stations based on three vegetative conditions that are dense, average and distantly, on each transect or station using 10 main 20x20 meter length for tree measurements and subplots 1x1 meter length for litters measurements. The results showed potential of nechromass carbon in Hutan Larangan Adat Kenagarian Rumbio at 8,27 ton/ha for tree nechromass and 4,48 ton/ha for litters nechromass, the study also has the potential to be a design module for air pollution materials in 10th grade high school biology study.*

Key Words: *Nechromass, carbon, Air pollution*

ESTIMASI KANDUNGAN CARBON NEKROMASA DI HUTAN LARANGAN ADAT KENAGARIAN RUMBIO KECAMATAN KAMPAR SEBAGAI RANCANGAN MODUL PADA PEMBELAJARAN BIOLOGI SMA

Irfan, Sri Wulandari, Yuslim Fauziah

Email : irfan2752@student.unri.ac.id, sri.wulandari@lecturer.unri.ac.id, yuslim.fauziah@gmail.com
Nomor Hp : +6289501640003

Program Studi Pendidikan Biologi
Jurusan Pendidikan Matematika Dan Ilmu Pengetahuan
Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan
Universitas Riau

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi carbon tersimpan pada nekromasa pohon dan serasah di Hutan Larangan Adat Kenagarian Rumbio Kecamatan Kampar dan potensinya untuk menghasilkan rancangan modul materi pencemaran udara pada pembelajaran biologi SMA kelas X. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai Maret 2019. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan menggunakan metode survey di Hutan Larangan Adat Kenagarian Rumbio dan di Laboratorium Alam Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Riau. Pemilihan lokasi dilakukan secara *purposive sampling*, dimana terdapat 3 stasiun berdasarkan 3 kondisi kerapatan vegetasi yaitu rapat sedang dan renggang, pada masing-masing transect atau stasiun menggunakan 10 buah plot utama berukuran 20x20 meter untuk pengambilan data nekromasa pohon dan subplot berukuran 1x1m untuk pengambilan sampel serasah. Hasil penelitian menunjukkan potensi carbon pada nekromasa di hutan larangan adat kenagarian rumbio sebesar 8,27 ton/ha untuk nekromasa pohon dan 4,48 ton/ha untuk nekromasa serasah, data hasil penelitian ini juga berpotensi untuk menjadi rancangan modul untuk materi pencemaran udara pada pembelajaran biologi SMA kelas X.

Kata Kunci : *Nekromasa, Carbon, Pencemaran Udara*

PENDAHULUAN

Hutan memiliki peranan yang besar dalam perubahan iklim, baik sebagai sumber emisi maupun penyerap gas rumah kaca (GRK). Tim SOS (2011) melaporkan bahwa, hampir 50% peningkatan suhu global dipengaruhi oleh peningkatan gas karbondioksida (CO₂) di atmosfer. Salah satu penyebab tidak terkendalinya gas CO₂ di atmosfer adalah terdegradasinya hutan akibat eksploitasi manusia, sehingga terganggunya fungsi hutan sebagai penyerap gas CO₂ dan mempertinggi angka pelepasan C ke atmosfer. Nilai Carbon tersimpan di hutan, baik dalam bentuk biomasa (vegetasi hidup) maupun nekromasa (vegetasi yang telah mati) sangat relevan dengan isu perubahan iklim. Nilai Carbon yang tersimpan pada biomasa menggambarkan seberapa besar Carbon bebas di udara telah tertambat pada tubuh tumbuhan, sementara Carbon pada nekromasa menggambarkan seberapa besar nilai carbon yang akan dilepaskan ke atmosfer melalui dekomposisi. (Sutaryo, 2009).

Carbon yang terdapat di hutan tersimpan di atas dan bawah permukaan tanah. Carbon di atas permukaan tanah disimpan dalam tegakan berdiri, tumbuhan bawah, serasah, dan tegakan yang telah mati. Carbon di bawah permukaan tanah tersimpan dalam akar, tanah dan biota tanah. Sumber carbon lain yang cukup besar di hutan adalah bahan organik mati (dead organic matter) termasuk di dalamnya serasah dan nekromasa yang memiliki tingkat dekomposisi yang berbeda-beda, nilai carbon yang masih tersimpan pada nekromasa akan berbeda bergantung pada tingkat dekomposisinya. Pada saat tumbuhan hutan mati, akan terjadi proses dekomposisi oleh bakteri dan mikroba yang melepaskan CO₂ ke atmosfer. Di hutan alam secara alamiah akan banyak terjadi mortalitas akibat usia, persaingan tempat tumbuh maupun akibat penyebab lain seperti hama, penyakit, maupun bencana alam. Mortalitas vegetasi mengubah biomasa menjadi nekromasa. (Manuri *et al.* 2011).

Menurut Puti (2009) nekromasa masih berfungsi sebagai penyimpan cadangan carbon namun sudah kehilangan fungsinya dalam penyerapan carbon di atmosfer dikarenakan proses fotosintesis dan penambahan masa yang sudah tidak berlangsung. Dekomposisi dari nekromasa juga menghasilkan emisi carbon, terlebih jika areal tersebut juga memiliki tingkat kerawanan terhadap bahaya kebakaran, yang menjadikan nekromasa menjadi sumber bahan bakar dan berpotensi sebagai sumber emisi dengan lebih cepat. Nekromasa di hutan merupakan salah satu sumber carbon yang penting untuk diukur, karna nilai carbon pada nekromasa juga merepresentasikan jumlah carbon yang akan teremisikan secara perlahan oleh proses alamiah di hutan.

Salah satu hutan yang memiliki potensi tinggi dalam fungsinya sebagai penyerap dan penyimpan carbon di wilayah Riau adalah Hutan Kenagarian Adat Rumbio, yang dikelola dan di lindungi oleh hukum untuk menghindari terjadinya eksploitasi. Pengelolaan Hutan Larangan Adat Rumbio berbasis masyarakat dimana perencanaan, pengawasan dan penegakan hukum dilaksanakan oleh masyarakat adat dengan menerapkan aturan-aturan dan sanksi adat. Menurut Suhartini (2009) penerapan sistem adat cukup efektif untuk mencegah eksploitasi hutan dari faktor antropologi yang dilakukan oleh masyarakat. Salah satu aturan yang ditegakkan di Kawasan Hutan Kenagarian Adat Rumbio adalah larangan pemanen kayu baik yang masih hidup maupun yang telah mati terkecuali untuk kepentingan tertentu dan melalui izin masyarakat adat. Berdasarkan hal tersebut hutan kenagarian adat rumbio yang dikelola dapat merepresentasikan jumlah carbon yang tersimpan dalam nekromasa dari

proses alamiah yang terjadi di hutan, yang mana nilai tersebut juga merupakan potensi sebagai sumber emisi carbon dari proses dekomposisi.

Pencemaran udara telah dijadikan sebagai konsep materi biologi dan dipelajari dijenjang SMA kelas X semester I pada KD 3.11. Menganalisis data perubahan lingkungan dan penyebab serta dampak dari perubahan-perubahan tersebut bagi kehidupan. Hasil observasi dan wawancara dengan guru-guru di beberapa sekolah menunjukkan bahwa selama proses pembelajaran konsep pencemaran udara masih menggunakan bahan ajar berupa buku teks dengan materi yang disampaikan bersifat abstrak, hanya secara global dan tidak dilengkapi dengan contoh-contoh nyata yang berada disekitar lingkungan peserta didik. Hal ini menyebabkan peserta didik kurang memahami materi-materi yang dipelajari di konsep mengenai pencemaran udara. Dilihat dari buku teks yang digunakan, penyampaian konsep pencemaran udara masih sangat minim, kurang variasi dan tidak kontekstual.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-Maret 2019 di Hutan Adat Kenagarian Rumbio dan di Laboratorium Alam Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Penelitian ini terdiri dari 2 tahap, yaitu: tahap pengukuran kandungan carbon nekromasa dan tahap kedua rancangan modul pembelajaran dengan alur rancangan yaitu *Analyze* (analisis) dan *Design* (desain).

Pengambilan data lapangan dilakukan secara *sampling* dengan metode *purposive random sampling* dan menggunakan metode transect dengan jenis belt transect. Terdapat 3 stasiun pengamatan dengan kriteria kerapatan berdasarkan hasil fisiognomi yakni stasiun dengan vegetasi rapat, sedang dan renggang, pada tiap stasiun dibuat garis lurus sebagai transect dengan plot berukuran 20x20m dibuat berderet mengikuti garis transect sejumlah 10 buah tiap stasiun sebagai plot utama untuk pengambilan sampel nekromasa pohon dan subplot pada tiap plot utama berukuran 1x1m sebagai plot pengambilan sampel serasah. Untuk nekromasa pohon mati baik yang masih tegak mau pun yang rebah pengambilan data dilakukan pada plot 20m x 20m dengan mengukur diameter batang setinggi dada (DBH) dan tinggi tegakan untuk pohon mati yang masih tegak sementara untuk pohon mati rebah dengan mengukur diameter pangkal, diameter ujung dan panjang pohon rebah. Sedangkan untuk serasah dilakukan pengumpulan seluruh serasah pada plot 1 m x 1m.

Nekromasa Pohon

Untuk penghitungan nekromasa serasah pohon yang masih berdiri dihitung menggunakan persamaan alometrik untuk semua jenis pohon secara umum menurut Maurin, *et al* (2012) yang dikalikan dengan factor koreksi tingkat keutuhan pohon menurut BSN (2011).

$$Bi = 0,0509 \times \rho \times DBH^2 \times T$$

(Maurin., *et al* 2012)

Keterangan :

- Bi = biomasa total (kg/pohon)
 ρ = berat jenis pohon
DBH = diameter setinggi dada (m)
T = tinggi tanaman (m)

$$N_i = B_i \times f$$

(BSN, 2011)

Keterangan :

- Ni = Nekromasa (kg/nekromasa)
Bi = Biomassa (kg)
f = Faktor koreksi

Untuk pohon rebah potensi nekromassa didapat dengan menggunakan rumus volume Brereton yang dikalikan dengan masa jenis kayu tersebut. Rumus yang digunakan menurut BSN (2011).

$$V_{km} = 0.25\pi \frac{d_p + d_u}{2 \times 100}^2 \times P$$
$$N_{km} = V_{km} \times \rho$$

(BSN, 2011)

Keterangan :

- V_{km} = volume kayu mati (m^3)
 d_p = diameter pangkal kayu mati (cm)
 d_u = diameter ujung kayu mati (cm)
P = Panjang nekromasa
 N_{km} = nekromasa kayu mati (kg)
 ρ = masa jenis kayu (kg/cm^3).

Berat Kering Serasah

Penghitungan berat kering serasah di hitung menggunakan perhitungan berat kering contoh yang dibagi berat basah contoh dan dikalikan berat basah total berdasarkan Hariah dan Rahayu, 2007.

Potensi carbon dapat diduga dengan meng-konversi 0,47 dari nilai nekromassa atau berat kering (IPCC, 2001).

Perancangan Modul Pembelajaran Biologi pada Konsep Pencemaran Udara

Peneliti melakukan analisis silabus SMA pada Kurikulum 2013. Data hasil penelitian akan di integrasikan dengan hasil analisis kurikulum untuk dijadikan rancangan modul. Tahap perancangan modul :

Pada tahap analisis, peneliti melakukan analisis terhadap silabus dan kurikulum 2013. Analisis kurikulum dilakukan dengan menganalisis apa saja yang menjadi tuntutan kurikulum dalam proses pembelajaran meliputi KD, Indikator Pencapaian

Kompetensi (IPK) dan materi pelajaran. Setelah dilakukan analisis silabus SMA untuk Kurikulum 2013, KD yang dianalisis itu dirancang ke dalam perangkat pembelajaran. Adapun KD yang berkaitan dengan hasil penelitian adalah sebagai berikut

Tabel 1. Kompetensi Dasar Yang Terkait Dengan Hasil Penelitian

Kompetensi Dasar	Kelas/Semester
3.10 Menganalisis komponen-komponen ekosistem dan interaksi antar komponen tersebut	X/1
3.11 Menganalisis data perubahan lingkungan dan penyebab, serta dampak dari perubahan-perubahan tersebut bagi kehidupan	X/1
4.10 Menyajikan karya yang menunjukkan interaksi antar komponen ekosistem (jaring-jaring makanan, siklus Biogeokimia)	X/1
4.11 Mengajukan gagasan pemecahan masalah perubahan lingkungan sesuai konteks permasalahan lingkungan di daerahnya.	X/1

Sumber: Kemendikbud (2016).

Adapun analisis materi pelajaran pada Kurikulum 2013 terkait dengan konsep-konsep yang harus di pahami oleh peserta didik sesuai dengan substansi penelitian analisis carbon tersimpan pada berbagai tingkat dekomposisi nekromasa berkorelasi dengan materi konsep Pencemaran lingkinga, pencemaran udara. Pada materi pencemaran udara peneliti ingin memperlihatkan bagaimana peran nekromasa sebagai indicator dan potensi pengendalian unsur pencemar udara carbon, melalui penambatan carbon di nekromasa dan pelepasan carbon melalui proses dekomposisi.

Berdasarkan hasil analisis maka dilakukan perancangan perangkat pembelajaran, perancangan materi yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik pada konsep pencemaran udara beserta rancangan butir-butir soal untuk evaluasi pembelajaran. Adapun implementasi dari perangkat pembelajaran yang telah di rancang pada prosesnya berdasarkan perndekatan saintifik. Setelah itu dilakukan perancangan modul konsep manfaat hutan dengan menggunakan format modul berdasarkan Depdiknas, (2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nekromasa Pohon Hutan Adat Kenegarian Rumbio

Nekromasa adalah senyawa organic yang masih tersisa di tubuh tumbuhan mati. Sementara carbon merupakan salah satu unsur yang menyusun nekromasa, dimana 47% unsur didalam nekromasa adalah carbon. Berdasarkan hasil penelitian, besaran nekromasa dapat dilihat pada table 2 berikut:

Tabel 2. Total Nekromasa Dan Cadangan Carbon Pada Berbagai Tingkat Kerapatan Di Larangan Adat Kenagarian Rumbio, Kecamatan Kampar, Riau.

No.	Lokasi/Stasiun	Rata-rata
		Carbon nekromasa (Ton/ha)
1.	Rapat	9,98
2.	Sedang	7,61
3.	Renggang	7,21
Rata-rata		8,27

Berdasarkan Tabel 2 di atas menunjukkan bahwa diketahui bahwa faktor Dari tabel 1. Nilai carbon tertinggi terdapat pada stasiun dengan tingkat kerapatan vegetasi rapat sementara nilai carbon terendah terdapat pada stasiun dengan tingkat kerapatan renggang. Melalui fakta ini dapat diketahui bahwa kenaikan nilai carbon berbanding lurus pada tingkat kerapatan, semakin rapat vegetasi maka semakin besar pula nilai carbon yang terkandung di dalamnya.

Tingginya nilai carbon pada stasiun dengan tingkat kerapatan tinggi dipengaruhi oleh jumlah keberadaan vegetasi pohon. Nekromasa merupakan produk dari aktifitas alamiah vegetasi yakni mortalitas (kematian) dan kerusakan tubuh tumbuhan akibat faktor fisik dan biologis (Aidi, 2014). Hal ini berdampak pada semakin tingginya jumlah nekromasa apabila keberadaan vegetasi semakin banyak. Pada stasiun dengan kerapatan tinggi nekromasa paling banyak dijumpai dalam bentuk bagian dari cabang pohon yang patah, keberadaan bagian pohon yang patah dapat disebabkan oleh factor internal dari tumbuhan sendiri seperti stress mekanik akibat menopang beban dari pertumbuhan cabang tanaman itu sendiri mau pun faktor luar seperti serangan hama atau terpaan hujan mau pun angin (Stalin *et al.* 2013).

Potensi Carbon Nekromasa Serasah Hutan Adat Kenagarian Rumbio

Serasah merupakan sisa bahan organik dari daun dan ranting pohon yang berguguran di lantai hutan, serasah dihitung berdasarkan total berat basah dan nilai rata-rata persen kadar airnya. Nekromasa serasah kasar dan serasah halus memberikan sumbangan biomasa yang relatif kecil dibandingkan dengan nekromasa pohon. Nilai rata-rata carbon nekromasa serasah pada lokasi penelitian dapat dilihat padah tabel 3.

Tabel 3. Rata-Rata Carbon Nekromasa Serasah Kasar Dan Halus

No.	Lokasi/stasiun	Rata-rata carbon (ton/ha)		Rata-rata Carbon (ton/ha)
		Serasah kasar	Serasah halus	
1	Rapat	5,51	5,37	5,44
2	Sedang	5,17	2,91	4,04

3	Renggang	4,84	3,05	3,95
Total rata-rata (ton/ha)		5,17	3,78	4,48

Pada tabel dapat 3 dilihat bahwa rata-rata carbon tertinggi terdapat pada stasiun dengan vegetasi rapat dan terendah pada stasiun dengan vegetasi renggang. Secara keseluruhan, nilai nekromasa serasah kasar lebih besar dibanding serasah halus. Besarnya nilai carbon nekromasa serasah secara keseluruhan pada kondisi vegetasi rapat merupakan akibat dari tingginya produksi serasah oleh vegetasi, nekromasa yang dihasilkan berupa serasah ranting dan daun. Jumlah serasah halus yang tinggi pada stasiun rapat jika dibandingkan dengan stasiun renggang dan sedang, terjadi akibat dari proses dekomposisi serasah yang lebih cepat karena kondisi hutan yang lembab dan lebih sedikit paparan sinar matahari langsung yang menembus lantai hutan sebagai akibat dari rapatnya vegetasi, menurut Muhammad Abdillah Hanif (2016) kondisi ini menghasilkan keadaan suhu, kelembaban dan pH yang optimal untuk proses dekomposisi. Hal inilah yang menjadi factor banyaknya ditemukan serasah halus pada stasiun dengan kondisi vegetasi rapat, karena proses perubahan serasah dari kasar menjadi halus akibat proses dekomposisi berlangsung lebih cepat.

Potensi Carbon Nekromasa Total pada Hutang Larangan Adat Kenagarian Rumbio

Terdapat 2 jenis nekromasa (bahan organik mati) yang dihitung di hutan larangan adat kenagarian rumbio, nilai rata-rata dari kedua jenis nekromasa tersebut dapat dilihat pada tabel 4 berikut :

Tabel 4. Total Potensi Carbon Nekromasa

No.	Lokasi/stasiun	Carbon (ton/ha)		Total Potensi Carbon (ton/ha)
		Pohon	Serasah	
1	Rapat	9,98	5,44	15,42
2	Sedang	7,61	4,04	11,65
3	Renggang	7,21	3,95	11,16
Rata-rata Carbon		8,27	4,48	12,75

Besaran nilai carbon pada nekromasa secara tidak langsung juga menunjukkan bahwa potensi pelepasan carbon dari nekromasa akan menjadi lebih besar. Karena Senyawa yang terkandung didalam tubuh tumbuhan mati bersifat tidak stabil dan dapat teremisikan Kembali oleh proses dekomposisi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Abdillah Hanif (2016) proses dekomposisi di Hutan Kenagarian Adat Rumbio berkisar antara 0,0018-0,0049gr/hari dengan laju tertinggi pada kondisi vegetasi dengan kerapatan rapat dan laju terendah pada hutan dengan kerapatan renggang.

Analisis Potensi Pengayaan Modul dari Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh mengenai Analisis Carbon Tersimpan pada Tingkat Dekomposisi Nekromasa di Hutan Larangan Adat Kenagarian Rumbio Kecamatan Kampar akan dikembangkan sebagai sumber belajar berupa modul pembelajaran biologi SMA kelas X dalam materi pencemaran udara. Langkah perancangan modul pembelajaran dilakukan dengan dua tahap, yaitu tahap Analisis dan Desain.

Analisis

Berdasarkan hasil analisis kurikulum yang telah dilakukan, topik/kajian yang berkaitan dengan hasil penelitian berupa kompetensi dasar (KD) pada mata pelajaran Biologi dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Data Penelitian dan Kompetensi Dasar

Data Hasil Penelitian	Materi	Kompetensi Dasar	Kelas/ Semester	Potensi Pengayaan
1. Cadangan carbon yang tertambat pada nekromasa sebagai factor pengendali emisi carbon pada lingkungan	Pencemaran udara	3.11 Menganalisis data perubahan lingkungan dan penyebab serta dampak dari perubahan-perubahan tersebut bagi kehidupan	X/1	Modul Pembelajaran
2. Niali carbon diberbagai tingkat dekomposisi nekromasa sebagai gambaran pelepasan carbon ke atmosfer		4.11 Mengajukan gagasan pemecahan masalah perubahan lingkungan sesuai konteks permasalahan lingkungan di daerahnya		

Berdasarkan tabel 4 kompetensi dasar yang berpotensi untuk digunakan sebagai pengayaan materi ada pada (KD) yaitu: 3.10 dan 4.10 kelas XII. Dari analisis kurikulum dan silabus, kurikulum yang akan dijadikan rancangan *Booklet* pada pembelajaran biologi di SMA adalah Kurikulum 2013 dan silabus yang digunakan

Dari hasil analisis silabus pada KD 3.11 yang mempunyai potensi untuk dijadikan pengayaan bahan ajar yaitu pada materi pencemaran udara. Data hasil penelitian akan dijadikan pengayaan bahan ajar berupa rancangan modul pembelajaran yang diintegrasikan pada KD 3.11 yaitu Menganalisis perubahan data lingkungan dan penyebab serta dampak dari perubahan-perubahan tersebut bagi kehidupan yang memiliki korelasi dengan substansi data penelitian yaitu cadangan carbon sebagai dasar pengetahuan untuk pengendalian emisi gas carbon yang tidak terkendali di udara. Peran penelitian nekromasa sebagai mitigasi pencemaran udara diharapkan menambah wawasan terkait permasalahan lingkungan yang kontekstual, hal ini sesuai dengan tuntutan KI pada silabus 2013 yaitu memahami, menerapkan, menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni budaya dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan dan peradaban terkait fenomena dan kejadian, serta menerapkan pengetahuan prosedural pada bidang kajian spesifik sesuai dengan bakat dan minatnya untuk memecahkan masalah.

Desain

Tahap desain modul merupakan tahapan perancangan konsep materi yang berkaitan dengan fakta dan data yang diperoleh dari hasil penelitian. Rancangan modul disesuaikan dengan indikator pembelajaran dan indikator pencapaian kompetensi yang harus diraih siswa.

Indikator yang dicapai pada modul ini yaitu menjelaskan dampak pencemaran udara dan upaya mitigasinya. Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK) yang harus diraih adalah agar peserta didik mampu menjelaskan dampak pencemaran udara, peserta didik mampu mengemukakan upaya mitigasi pencemaran udara dan peserta didik mampu menjelaskan peran nekromasa sebagai upaya mitigasi pencemaran udara. Modul yang dirancang pada penelitian ini adalah modul pembelajaran. Adapun format modul mengacu pada Depdiknas (2008).

Berikut adalah uraian dari format rancangan modul pembelajaran yang dibuat peneliti pada materi pencemaran udara di kelas X SMA yang telah diintegrasikan dengan hasil penelitian:

1.) Judul/identitas modul

Judul modul merujuk pada materi pokok yang terdapat pada kurikulum. Judul modul yang dirancang berdasarkan indikator pencapaian kompetensi yang telah dikembangkan dari KD.

2.) Kata Pengantar

Memuat uraian pembuka tentang peran modul estimasi cadangan carbon nekromasa dalam proses pembelajaran.

3.) Daftar isi, daftar tabel dan daftar gambar

Daftar isi, daftar tabel dan gambar adalah sebagai kerangka modul yang memberikan kemudahan terkait informasi substansi modul.

- 4.) **Petunjuk penggunaan modul**
Memuat langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mempelajari modul dengan benar. Petunjuk penggunaan modul terbagi 2 yaitu petunjuk untuk peserta didik dan petunjuk untuk guru.
- 5.) **Peta konsep**
Memuat ilustrasi yang berisikan pokok bahasan materi yang dipelajari oleh peserta didik.
- 6.) **Kompetensi inti, Kompetensi dasar, Indikator dan IPK**
Memuat komponen KI, KD dan indikator yang telah dianalisis dan terintegrasi dengan hasil penelitian terkait.
- 7.) **Pendahuluan**
Memuat informasi umum terkait materi pencemaran udara dan mengaitkan dengan hasil pembelajaran yang akan dicapai.
- 8.) **Materi pembelajaran/ Kegiatan pembelajaran**
Memuat uraian materi, latihan, tugas, rangkuman, tes formatif, kunci jawaban, umpan balik dan tindak lanjut pembelajaran.
- 9.) **Daftar pustaka**
Memuat referensi terkait dengan substansi isi modul dan juga sebagai referensi bacaan oleh peserta didik dalam memahami materi pembelajaran.

SIMPULAN DAN REKOMENDASI

Simpulan

Potensi carbon pada nekromasa di hutan larangan adat kenagarian rumbio sebesar 8,27 ton/ha untuk nekromasa pohon dan 4,48 ton/ha untuk nekromasa serasah. Nilai carbon pada nekromasa di Hutan Larangan Adat Kenagarian Rumbio ini cukup kecil bila dibandingkan dengan beberapa kondisi hutan lainnya, menunjukkan bahwa mortalitas di Hutan Larangan Adat Kenagarian Rumbio rendah dan pengembalian carbon ke atmosfer dari vegetasi juga rendah. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai rancangan modul pada materi pencemaran udara siswa kelas X SMA.

Rekomendasi

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka perlu dilakukan: Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menghitung nilai cadangan carbon pada vegetasi hidup dan pengaruhnya terhadap komponen fisika kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammann, Caspar, et al. (2007). "Solar influence on climate during the past millennium: Results from ransient simulations with the NCAR Climate Simulation Model". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 (10): 3713-3718.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon–Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (ground based forest carbon accounting)*. BSN (ID). Jakarta.
- Departemen Pertanian Direktorat Jenderal Perkebunan. 2014. *Statistik Perkebunan Indonesia*. Direktorat Jendral Perkebunan. Jakarta.
- Depdiknas. 2008. *Pengembangan Bahan Ajar*. Sosialisasi KTSP 2008. BSNP. Jakarta.
- Dick Walter and Lou Carey. 2005. *The Systematic Design of Instruction*. Pearson. Boston.
- Hairiah, K dan Rahayu, S. 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan pada Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Center. Bogor.
- Hidayat. 1998. *Mikrobiologi Industri*. C.V Andi Offset. Yogyakarta.
- IPCC 2001. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxida. *The Scientific Basis In Climate change*. 14(6). 185-237.
- Manuri, S. C. A. S, Putra. dan A. D Saputra. 2011. Teknik Pendugaan Cadangan Karbon. Dinas Kehutanan Sumsel. Palembang.
- Maurin P, Rahmawaty, Risman. 2012. Pendugaan Cadangan Karbon Above Ground Biomass (AGB) Pada Tegakan Hutan Alam di Kabupaten Langkat. *Jurnal Kehutanan*. 1(3) : 99-105. Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Muhammad Abdillah Hanif. 2016. Laju Dekomposisi Serasah Daun di Kawasan Hutan Larangan Adat Rumbio Kecamatan Kampar Kabupaten Kampar. Skripsi. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Saetre, P. 1998. Decomposition, microbial community struture, and earthworm effects along a birch-spure soil gradient. *Ecology*. 79: 834-846.
- Saetre, P. 1998. Decomposition, microbial community struture, and earthworm effects

along a birch-spure soil gradient. *Ecology*. 79: 834-846.

Stalin, M., Farah, D., Harnani, H. 2013. Analisis Kerusakan Pohon Di Jalan Ahmad Yani Kota Pontianak. *Jurnal Hutan Lestari*; 1 (2): pp.8.

Suhartini. 2009. *Kajian Kearifan Lokal Masyarakat dalam Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.